

6. Методичні рекомендації «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря». Затверджено наказом МОЗ від 13 квітня 2007 р. №184.

*Рекомендовано к публікації д.т.н. Зберовським О.В.
Поступила в редакцію 16.01.15*

УДК 622.813:622.76.1.012

© В.І. Кривощоков, І.М. Мацюк

ПЕРЕРОБКА ТА УТИЛІЗАЦІЯ БУРОВУГІЛЬНИХ ШЛАМІВ

Разработана безотходная технология переработки буровугольного шлама и крошки с замкнутым циклом водоснабжения и получением транспортабельного готового продукта для сжигания или брикетирования с содержанием влаги 26% ... 28 %.

Розроблена безвідходна технологія переробки буровугільного шламу та крихти із замкненим циклом водопостачання й одержанням транспортабельного готового продукту для спалювання або брикетування із вмістом вологи 26% ... 28 %.

Wasteless technology of treating brown coal slurry and crumb with closed cycle of water supply and receiving transportability finished product for burning and briquetting with 26–28 moisture content has been developed.

Вступ. Балансові запаси вугілля в Україні складають 45 млрд тонн, у тому числі бурого – більше 8 млрд тонн. При традиційній технології брикетування бурого вугілля відходи брикетних фабрик – шлам (до 3 %) і крихта (до 15 %) не переробляються внаслідок відсутності теоретичного та експериментального обґрунтування їх утилізації. Перспективним напрямом удосконалення процесу виробництва буровугільних брикетів є розробка і впровадження безвідходної технології роздільної переробки шламу та крихти, а також замкненого циклу оборотного водопостачання брикетних фабрик, що виключить скидання за їх межі шламів і відповідно забруднення навколишнього середовища.

Проведено аналіз в області технології переробки бурого вугілля Дніпровського басейну та наведено характеристику якості цього вугілля. Розподіл бурого вугілля на землисте молоде та щільне зріле пов'язаний з впливом метаморфізму і петрографічним складом. На відміну від кам'яного вугілля, буре містить бітуми, гумінові та карбонові кислоти, володіє здібністю до пластичних деформацій.

Проблема переробки бурого вугілля полягає у відсутності технології переробки відходів брикетної фабрики (шламу і крихти) та її переведення на замкнений цикл водопостачання, що дозволить додатково отримати транспортабельний готовий продукт, значно знизити споживання чистої води і виключити забруднення навколишнього середовища.

Частка бурого вугілля в світовому виробництві електроенергії складає 4 %, але в окремих країнах вона значно більше, наприклад, у Греції – 68%, Чехії – 63 %. У Німеччині, з урахуванням новітніх технологій спалювання і

забезпечення екологічних вимог, починаючи з 2000 року буре вугілля стало найдешевшим джерелом вироблення електроенергії. Як засвідчує досвід розвинених країн світу, буре вугілля є не тільки енергетичним паливом, але і цінною сировиною для хімічної та інших галузей промисловості.

Нині проблемі утилізації відходів виробництва надається особливе значення у зв'язку з охороною навколишнього середовища і раціональною експлуатацією брикетних фабрик, що запобіжить скиданню шламових вод у кар'єр-відстійник. Тому необхідна ефективна безвідходна технологія переробки буровугільних шламів з метою їх утилізації на основі обґрунтування раціональних технологічних параметрів і відповідного обладнання.

Недоліком традиційної технології виробництва буровугільних брикетів є втрати палива у вигляді скидання шламів за межі фабрики через відсутність замкненого водно-шламового циклу.

Шламова вода брикетної фабрики (після змивання промплощадок і системи мокрого знепилювання) містить фракції, що спливла (46,96 %) та потонула (53,04 %). З концентрацією твердого 10–30 кг/м³ вона важко просвітлюється, оскільки швидкість природного осадження частинок фракції, що потонула, мала [1].

Формулювання мети роботи. Мета роботи – розробка безвідходної технології переробки буровугільних шламів брикетних фабрик, яка забезпечує отримання просвітленої води для замкненого водопостачання та транспортабельного продукту для спалювання або брикетування із застосуванням раціонального обладнання.

Виявлення і вивчення особливостей бурого вугілля та шламу брикетних фабрик, а також дослідження поверхневих властивостей шламу для обґрунтування розділової ознаки. Визначення розділової ознаки буровугільного шламу з урахуванням його поверхневих властивостей для встановлення технологічної ефективності безреагентної флотосепарації. Дослідження кінетики осадження та вплив різних флокулянтів на ефективність процесу згущення шламу для його уловлювання та одержання оборотної води. Розробка безвідходної технології переробки буровугільних шламів з метою їх утилізації на основі обґрунтування раціональних технологічних параметрів і відповідного обладнання.

Викладення основного матеріалу. Як відомо, на брикетних фабриках утворюються відходи у вигляді пилу і шламу, які скидаються в золовідстійник, а також биті брикети і крихта. Встановлено, що у статичних умовах уже через 1,5 с спостерігається розділення буровугільного шламу на фракції, що спливла та потонула, а по закінченні 4 хв – чітка межа між ними.

Для проведення аналізу поверхневих властивостей фракцій, що спливла та потонула, були виготовлені брикети і за відомою методикою виміряні крайові кути змочування.

Для визначення залежності крайового кута змочування θ від температури нагрівання (рис. 1) відбиралась проба рядового бурого вугілля, висушувалась, охолоджувалась, розділялась у воді на фракції, що спливла та

потонула, знову висушувалась і потім окремо брикетувалась ручним пресом при постійному тиску ($P = 120$ МПа) і різній температурі нагрівання в муфельній печі з подальшим охолодженням.

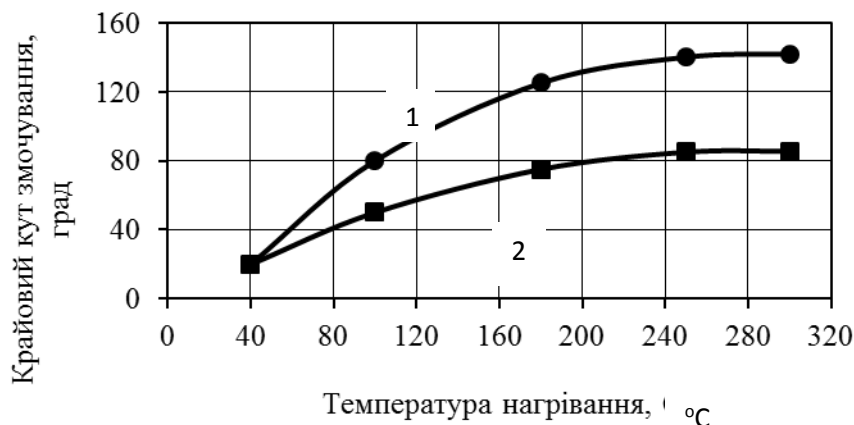


Рис. 1. Залежність крайового кута змочування від температури нагріву фракцій, що спливла (1) та потонула (2).

Як видно з рис. 1, збільшення крайового кута змочування обох фракцій пов'язане з плавленням бітумних смол, які підвищують гідрофобність, особливо фракції, що спливла, де їх вміст найбільший. Це дозволяє прийняти гідрофобність поверхні частинок, як розділову ознаку для буровугільного шламу, і виконати сепарацію шламу на фракції, що спливла та потонула.

Хімічний аналіз компонентів, що утворюють золу, і виконаний розрахунок свідчать про переважний вміст SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , SO_3 і MgO у фракціях, що виринула та потонула, у порівнянні з іншими оксидами, а спектральний – що обидві фракції відрізняються одна від одної кількісним вмістом таких елементів як Ba, Ti, Sr, Mn, Zn і Pb. Це дає підставу враховувати відмінність кристалічних структур даних фракцій, що впливає на їх технологічні властивості.

Фракційний аналіз фракцій буровугільного шламу, що спливла (табл. 1), проводився за такою методикою. Пробу поміщали у воду з температурою $t=100$ оС, перемішували, охолоджували та видаляли воду, з якої вилучали бітумні компоненти. Потім пробу висушували при кімнатній температурі та фракціонували в розчині хлористого натрію із вмістом солі 1,5; 2,8; 5,0; 9,0 і 15 %. Фракційний аналіз фракції, що потонула (табл. 2), виконували в розчині хлористого цинку за стандартною методикою.

Фракції буровугільного шламу, що спливла та потонула, дещо відрізняються за крупністю (рис. 2).

Визначене необхідне обладнання для просвітлення шламових вод і згущення пульп, який оснований на визначенні швидкості переміщення межі розділення між освітленою водою та гідросумішшю твердого у мірчому циліндрі. Вивчено вплив різних флокулянтів (ПАА – поліакриламід, КАТ-FLOC 3840, КАТ F 148, KAN 20 VHM і X 99 B1) на осадження фракції буровугільного шламу, що потонула, при концентрації твердої фази 50 кг/м³.

З чого встановлено, що найефективнішим флокулянт є ПАА або КАТ-FLOC 3840.

Таблиця 1

Фракційний аналіз фракції буровугільного шламу, що спливла

Щільність фракції, кг/м ³	Вихід γ , %	Зольність A^d , %	$\gamma_i A_i^d$	Сумарні показники, %			
				Фракція, що спливла		Фракція, що потонула	
				γ	A^d	γ	A^d
<1009	8,58	11,94	102,44	8,58	11,94	100,0	12,65
1009-1017	17,61	12,56	221,18	26,19	12,36	91,42	12,71
1017-1035	69,35	12,68	879,36	95,54	12,59	73,81	12,75
1035-1070	2,42	12,73	30,81	97,96	12,59	4,46	13,85
1070-1109	1,17	14,85	17,37	99,13	12,62	2,04	15,17
>1109	0,87	15,61	13,58	100,0	12,65	0,87	15,61
Разом	100,0	12,65	1264,74	-	-	-	-

Таблиця 2

Фракційний аналіз фракції буровугільного шламу, що потонула

Щільність фракції, кг/м ³	Вихід γ , %	Зольність A^d , %	$\gamma_i A_i^d$	Сумарні показники, %			
				Фракція, що спливла		Фракція, що потонула	
				γ	A^d	γ	A^d
<1100	0,27	12,61	3,40	0,27	12,61	100,0	22,18
1100-1200	1,03	14,35	14,78	1,30	13,98	99,73	22,21
1200-1300	15,05	16,52	248,63	16,35	16,32	98,70	22,29
1300-1400	72,53	23,07	1673,27	88,88	21,83	83,65	23,33
1400-1500	9,58	24,45	234,23	98,46	22,08	11,12	25,03
1500-1600	1,04	24,83	25,82	99,50	22,11	1,54	28,62
>1600	0,50	36,52	18,26	100,0	22,18	0,50	36,52
Разом	100,0	22,18	2218,39	-	-	-	-

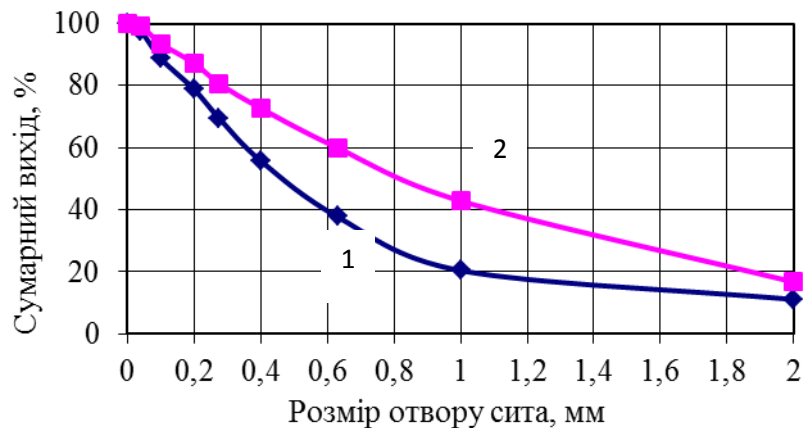


Рис. 2. Сумарна характеристика крупності буровугільного шламу фракцій, що сплила (1) та потонула (2).

З метою дослідження технологічних рішень кінетики осадження буровугільного шламу виконано багатофакторне планування експерименту та отримано математичну (регресійну) модель. На основі планування експерименту визначалася область, у якій вивчався вплив раціональних параметрів, і проводилися додаткові дослід, необхідні для ідентифікації моделей кінетики.

Встановлене рівняння регресії має такий вигляд:

$$Y = 88,5 + 2,5X_1 + 3,5X_3 - 1,5X_2 X_3,$$

де Y – вихід осаду, %; X_1 – витрата реагенту поліакриламід (g), г/т; X_2 – щільність пульпи (p), %; X_3 – час осадження (t), хв.

На базі експериментальних даних для вузьких класів крупності встановлені коефіцієнти кінетики осадження фракції буровугільного шламу, що потонула, які визначалися за методом сплайн-регресії та відновлення емпіричної функції регресії з рівняння висоти просвітленого шару рідини:

$$H = \Delta H \exp(-kt^n),$$

де $\Delta H = H_0 - H_t$; H_0 – первісна висота шару суспензії, мм; H_t – висота осілого шару суспензії, мм; k , n – коефіцієнти кінетики.

Як виявив аналіз дослідження рівняння та отриманих залежностей, вміст твердої фази знаходиться у зворотній залежності від висоти шару H_t , а коефіцієнти ($k=0,55-0,25$ і $n=0,08-0,66$ при $q=20-60$ г/т) визначають форму і положення кривої кінетики.

При зміні умов протікання процесу, наприклад, технологічних факторів, ці коефіцієнти змінюються. Коефіцієнт k розкривається через технологічні параметри – розмір частинок, концентрацію твердого в суспензії, витрату реагенту та інше.

У запропонованій авторами технологічній схемі в переробку надходить шламова вода (з промділянок, території фабрики, після знепилювання

The diagram illustrates the process flow of a briquetting plant. It starts with a hopper (1) for slag residue, which is mixed with slag water (шламова вода) in a mixer (2). The mixture is then pumped (3) into a conveyor (4) that leads to a screw conveyor (5). From there, the material goes to a hopper (6) and then to a conveyor (7) that leads to a hopper (8). The material from hopper (8) is then processed by a roller (9) to produce briquettes (10) with a diameter of 6-60 mm. These briquettes are then processed by a roller (11) to produce briquettes (12) with a diameter of less than 3 mm. The final product (13) is then transported (14) to a conveyor (15) and finally to a hopper (16) for transport to a furnace or briquetting plant.

Особливість нового безреагентного флотосепаратора (рис. 4.), який пропонується автором, для переробки шламу полягає в тому, що до звужуваного жолоба, примикає флотаційна камера з аератором-ежектором [3].

105

фракцій, що спливла та потонула K_2 , гранулометричного складу цих фракцій K_3 :

$$K \geq K_1 K_2 K_3 \geq 1,25,$$

де коефіцієнти K_1 , K_2 , K_3 обчислюються як

$$K_1 = \Theta_1 / \Theta = 122 / 90 = 1,35;$$

$$K_2 = (\rho_1 / \rho_c) (\rho_2 / \rho_c) = (1024,94 / 1025) (1345,12 / 1025) = 1,31;$$

$$K_3 = d_1 / d_2 = 0,743 / 1,049 = 0,71;$$

Θ_1 – крайовий кут змочування фракції, що спливла, град; Θ – крайовий кут змочування, що відповідає точці інверсії ($\cos \Theta = 0$, $\Theta = 90^\circ$), град; ρ_1 , ρ_2 – середньозважена щільність фракцій, що спливла та потонула; $\rho_c = 1025 \text{ кг/м}^3$ – щільність суспензії при щільності шламу 1350 кг/м^3 та концентрації твердого 100 кг/м^3 ; d_1 , d_2 – середньозважена крупність зерен фракцій, що спливла та потонула, мм.

При $K \geq 1,25$ – безреагентна флотосепарація ефективна, а при $K < 1,25$ – ні.

Максимальна крупність частинок фракції, що спливла

$$d_{\max} = K_1 \sqrt{\frac{\sigma}{K_2 g}} K_4 = 1,35 \sqrt{\frac{72,8}{1,31 \cdot 9,81}} 0,7 = 2,25 \text{ мм},$$

де σ – поверхневе натягнення на межі розділу газ-рідина, мН/м; g – прискорення вільного падіння, м/с²; K_4 – коефіцієнт пропорційності, що враховує вплив форми частинок та умови їх змочування ($K_4 = 0,6-0,7$).

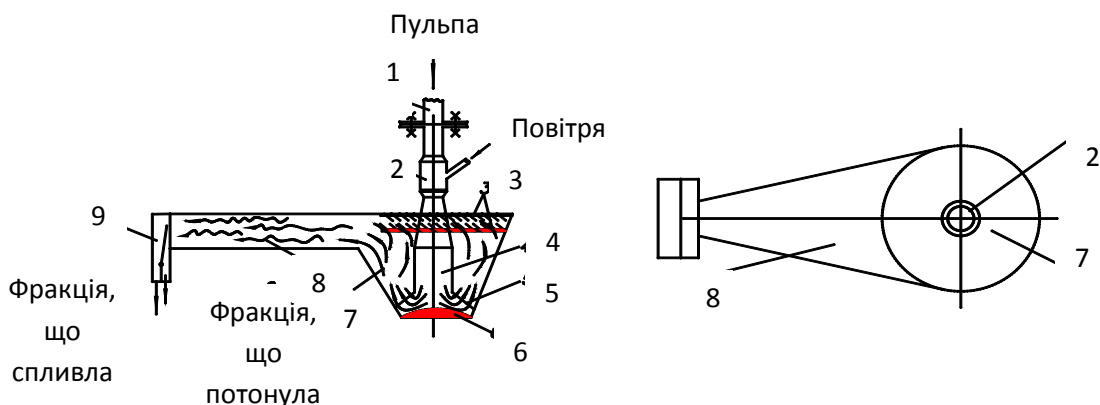


Рис. 4. Принципова схема безреагентного флотосепаратора: 1 – трубовідвід; 2 – аератор-ежектор; 3, 5 – заспокоїливі грати; 4 – трубовідвід пульпоповітряної суміші; 6 – відбійна плита-розподільник; 7 – флотокамера; 8 – звужуваний жолоб; 9 – приймач продуктів сепарації з шибером.

Показники флотосепарації з погляду кінетичних закономірностей практично визначаються коефіцієнтом швидкості флотосепарації мінералу K_i , коефіцієнтом селективності розділення s , тривалістю флотосепарації t . Коефіцієнт K_i , у загальному випадку залежить від гідроаераційних

параметрів флотосепаратора, властивостей буровугільного шламу. Якщо розглядати закономірність зміни процесу в певному інтервалі часу (від t_1 до t_2), то умови флотосепарації з упевненістю можна прийняти постійними (рис. 5), хоча загальна кінетична характеристика процесу у вказаному діапазоні може змінюватися з часом.

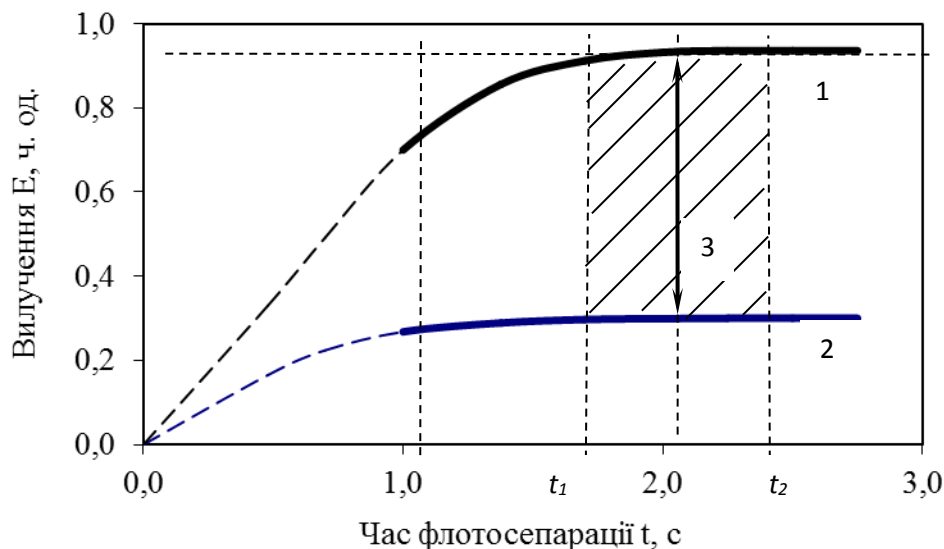


Рис. 5. Кінетика безреагентної флотосепарації: 1, 2 – часткове вилучення фракцій, що спливла та потонула в продукт, що сплив, ч. од.; 3 – ефективність флотосепарації ($\eta = E_1 - E_2$).

Зміну E_i в інтервалі часу від t_1 до t_2 можливо з достатньою точністю апроксимувати ділянкою експоненціальної кривої з $K_i = \text{const}$ і визначити його як $K_i = \ln(1 - E_i)/t$. Тоді:

$$E_1 = 1 - e^{-k_1 t}; \quad E_2 = 1 - e^{-k_2 t},$$

де E_1, E_2 – часткове вилучення фракцій, що спливла та потонула в продукт, що сплив, ч. од.; k_1, k_2 – коефіцієнти швидкості флотосепарації фракцій, що спливла та потонула; t – час флотосепарації, с.

Склад і якість продукту, що сплив, визначаються вилученням з нього як частини фракції, що спливла, так і частини фракції, що потонула:

$$E_1 = 1 - e^{-k_1 t} = 1 - e^{-1,329 \cdot 2} = 1 - 0,07 = 0,93;$$

$$E_2 = 1 - e^{-k_2 t} = 1 - e^{-0,164 \cdot 2} = 1 - 0,72 = 0,28;$$

$$\eta = E_1 - E_2 = 0,93 - 0,28 = 0,65 \text{ ч. од.},$$

а коефіцієнт селективності флотосепарації буровугільного шламу (відношення показників швидкості флотосепарації в продукт фракції, що виринула та потонула), як

$$c = \ln[1/(1 - E_1)] / \ln[1/(1 - E_2)] = k_1 t / (k_2 t) = k_1 / k_2 = 8,1.$$

Роздільне кондиціонування пульпи шляхом гідроциклонування та обробки реагентами пісків гідроциклона з подальшим їх змішуванням із зливом дозволяє значно скоротити витрати реагентів. Тому технічна компоновка роздільного кондиціонування та флотосепарації – це

перспективний напрям в розвитку технології переробки вугільних шламів та інших зернистих матеріалів.

Пристрій для роздільного кондиціонування пульпи фракції, що потонула, виконан на базі гідроциклону і відрізняється, розпилювачем реагентів та перфорованим спіральним аератором. Згущений (грубозернистий) продукт і злив об'єднують у змішувачі, де відбувається перерозподіл реагенту з поверхні крупних частинок на поверхню дрібних для подальшого процесу згущення пульпи.

Перевага поличного згущувача з похилими пластинами полягає у високій продуктивності при невеликій площі, відсутності рухомих частин і приводу, а також у незначному зносі деталей та малих експлуатаційних витратах. Продуктивність такого згущувача у порівнянні зі звичайним того ж об'єму в двадцять разів більше.

Для реалізації схеми переробки відходів брикетних фабрик вибрано та обґрунтовано основне технологічне обладнання, яке може бути виготовлене в умовах фабрики.

Висновки. Встановлено, що після термічної обробки та пресування бурого вугілля виявляються властивості гідрофобності його поверхні. Для фракції буровугільного шламу, що спливла, величина крайового кута змочування склала $122^{\circ}\dots 136^{\circ}$, а що потонула $85^{\circ}\dots 90^{\circ}$, що свідчить про високу гідрофобність поверхні фракції, що спливла, і дозволяє прийняти крайовий кут змочування за розділову ознаку, а також здійснити безреагентну флотосепарацію цих фракцій з ефективністю до 65 % і максимальною крупністю (2,25 мм) фракції, що спливла.

Роздільна переробка фракцій буровугільного шламу, що спливла та потонула, з подальшим їх перемішуванням із подрібненими до 3 мм битими брикетами (крихтою) обумовлена поверхневими властивостями шламу. Причому до перемішування роздільному кондиціонуванню і згущенню фракції, що потонула, повинна передувати безреагентна флотосепарація.

Розроблена безвідходна технологія переробки буровугільного шламу та крихти із замкненим циклом водопостачання й одержанням транспортабельного готового продукту для спалювання або брикетування із вмістом вологи 26% ... 28 % [4].

Список літератури

1. Кривошеков В.И., Мацюк И.Н. Ресурсосберегающая переработка отходов буроугольных брикетных фабрик // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2003. – Вип. 18 (59). – С.171-176.
2. Кривошеков В.И., Мацюк И.Н. Технологические свойства и утилизация отходов буроугольных брикетных фабрик // Уголь Украины. - 2004. - № 10. – С. 43 - 47.
3. Кривошеков В.И., Мацюк И.Н. Безреагентная флотосепарация: метод и устройство // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2006. – Вип.25 (66) – 26(67). – С. 84-92.
4. Технология переработки буроугольных шламов: монография / В.И. Кривошеков, И.Н. Мацюк. – Д.: Национальный горный университет, 2010. – 140 с.

*Рекомендовано к публикации д.т.н. Піловим П.І.
Поступила в редакцию 16.01.15*